

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-213803

(43) 公開日 平成8年 (1996) 8月20日

(51) Int. Cl. ⁶

H 0 1 P 1/15
1/185
1/203

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願平7-284005

(22) 出願日 平成7年 (1995) 10月31日

(31) 優先権主張番号 3 3 2 2 8 2

(32) 優先日 1994年10月31日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 590000879

テキサス インストルメンツ インコーポ
レイテッド

アメリカ合衆国テキサス州ダラス, ノース
セントラルエクスプレスウェイ 13500

(72) 発明者 チャールズ エル. ゴールドスミス

アメリカ合衆国テキサス州プラノ, スパニ
ッシュ トレイル 1617

(72) 発明者 ブラッドリー エム. カナック

アメリカ合衆国テキサス州デノト, マント
ルブルック 210

(74) 代理人 弁理士 浅村 皓 (外3名)

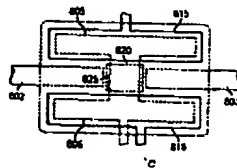
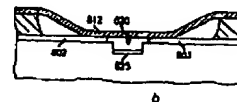
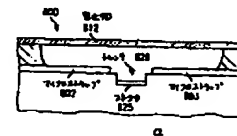
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高周波信号用スイッチを含む移相器

(57) 【要約】

【課題】 低電力消費、低コスト、線形性であり、制御用CMOS回路等と共に集積されるのに適したスイッチを含む各種システムを可能とする。

【解決手段】 このスイッチでは、例えば、基板面上の絶縁スペーサ開口内にマイクロストリップセグメント802、803、これらを挟む電極805、806が配置され、スペーサ上に支持され開口をまたぐ誘電体膜812の表面に金属薄膜815、816、金属板825が取り付けられる。電極及び金属薄膜が共に接地されるとき誘電体膜は平坦でスイッチは開く。電極と金属薄膜との間に正電圧を印加すると電極が膜812を引き下げて金属板825にセグメント802、803をブリッジさせこれらを誘導結合しスイッチを閉じる。電圧を解除すると膜812は平坦へ復帰する。スイッチは、ほぼマイクロ秒内に動作し、マイクロ波アレイ内に有効な多投スイッチに集積されて移相器、フィルタ等を構成する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 移相器であって、

- (a) 直列に配置された複数のスイッチ可能移相素子、及び
- (b) 連続する前記移相素子間の接続を含み、
- (c) 前記移相素子の各々が偏向可能素子を備える少なくとも1つのスイッチを含み、前記少なくとも1つのスイッチの設定が前記移相素子を通る信号に対する移相を決定する、移相器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術の分野】本発明は、電気信号用スイッチ、特にマイクロメカニカルスイッチ素子を備える高周波信号用スイッチ及びシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】典型的高周波スイッチはpinダイオードであるが、pinダイオードは電力消費（このダイオードは低インピーダンス状態に対してキャリアを供給するために順バイアスされねばならない）、高コスト、及び非線形性を含む問題を抱える。

【0003】ペーターソン、シリコン上ダイナミックマイクロメカニクス、技術及びデバイス、25 米国電気電子学会論文誌、電子デバイス、1241頁（1978年）[Peterson, Dynamic Micromechanics on Silicon: Techniques and Devices, 25 IEEE Tr. El. Dev. 1241 (1978)]は、金属対金属スイッチとして作用するシリコンマイクロメカニカル金属被覆カンチレバーを含む。図1a、bは、シリコン基板106にエッチングされた7 μ m深さの開口104の上を外へと延びる二酸化シリコン（「酸化物」）カンチレバー102を備えるスイッチを平面図及び断面図で図解する。金属電極108、109は、カンチレバー102上へ広がり、及び金属導体110はカンチレバー102上へ及びその端から上方へかつこれから外へ延びる。酸化物112上の金属接点120は、カンチレバー102と同じ面に横たわりかつ導体110の端の下で外へと延びる。このスイッチは、次のように動作する。電極108、109間に電力が印加されないならば、カンチレバー102はシリコン基板106の表面と並行を維持し、このスイッチはオープンである。しかしながら、これらの電極と基板との間に印加された約60ボルトは、導体110の端が金属120と接触するまでカンチレバー102を基板106へ向けて引く。これが、このスイッチを閉じさせる。この引下げ電圧の解放がこのスイッチを開く。

【0004】金属被覆（金属化）ポリマー膜を備えるマイクロメカニカル空間光変調器が、ホームベック（Homebeck）の米国特許第4,441,791号に載っている。図2aはこのような画素のアレイのうちの2つ

2

の画素を通る断面正面図を示し、図2bは等価回路を示す。ポリマー膜35の下側の金属薄膜30、31と底側電極21との間に印加された電圧は、このポリマー膜部分をこの電極の方へ引き下げ、これによってポリマー膜上の反射金属薄膜26の平坦表面を乱し、これによって反射光を変調する。過電圧を印加すると、このポリマー膜をこの電極の方へ下げて崩壊させ、その画素を破壊してしまう。アレイ内の画素に選択的に電圧を印加することにより、空間光変調が可能となる。

- 10 【0005】ランディングパッドを備える金属トーションビーム（tortion beams）で作られた画素を備える空間光変調器が、ホームベックの米国特許第5,061,049号に載っている。図3a、b及び図4a、bは、下側電極42及び46に加えてランディングパッド40、41の上で金属トーションヒンジ34及び36によって懸垂された金属ビーム30を備えるような画素の、斜視図、断面図及び平面図を示す。電極42、46とビーム30との間に電圧が印加されなければ、これらのビームは、図3bにおけるように金属表面26、28に並行である。電極42とビーム30との間に印加された電圧は、このビームを引きかつヒンジ34、36上でこのビームを反時計方向にねじり（図4b）、図解されたように1つのビーム縁は下へと電極の方へ動く一方、ビームの他の縁は立ち上がる。ビーム30はそれがランディングパッド40に接触したとき停止し、このパッドはビームと同じ電圧（典型的には接地）にある。ビーム30がこの傾斜位置にあるとき、光は表面28から反射する光とは異なった角度でビームから反射される。印加電圧の除去は、ヒンジ34、36を弛緩させて、ビーム30を表面28と平行な位置に復帰させる。それゆえ、このような画素アレイは、空間光変調器として作用することができる。

【0006】更に、電極46とビーム30との間に電圧を印加し（かつ電極42とビーム30との間に電圧を印加しない）ならば、同じようにビーム30は、それがランディングパッド41と接触するまで、時計方向にねじられることになる。これは、入射光に第2反射角を提供する。

【0007】

- 40 【発明が解決しようとする課題】本発明は、少なくとも2つの側上で支持された膜及びフラップを備えるマイクロメカニカルマイクロ波スイッチ及びアレイを提供する。

【0008】本発明は、電力を消費せず、低コスト、線形性、かつまたシリコン集積回路及びガリウムヒ素集積回路の両方との両立性を有するスイッチを含む。

【0009】

- 50 【課題を解決するための手段】本発明の好適実施例のシステムは、フェースドアレイレータ内のビームステアリングのような機能用の好適実施例のスイッチの単独又は

アレイを使用する。及び、この好適実施例のスイッチは全て、容量接続又はオーム接続のどちらかを開閉する信号経路に入出させるように可動素子（導体又は誘電体）を偏向させることによって、高周波電気信号をスイッチする。図5a～図36bは、好適実施例のスイッチを図解し、及び図40～図55は、好適実施例のスイッチを組み込んだ好適実施例のシステムを示す。

【0010】

【発明実施例の形態】例えば、図5a、b及び図6a～cは、全体的に参照符号400によって指示された第1好適実施例のスイッチを開状態及び閉状態の両方について平面図及び断面正面図で示す。スイッチ400は基板401（シリコンダイ上の2、3 μ mの厚さの二酸化シリコン薄膜であってよい）を含み、基板表面上かつ基板表面上の絶縁スペーサ層410内の開口内に伝送線路マイクロストリップセグメント402、403を備える。誘電体膜412がスペーサ410上に横たわりかつこの開口をまたぐ。膜412の上面に取り付けられた金属板414及び金属薄膜415が、スイッチング作用に対して、それぞれ、信号導通及び機械的偏向を提供する。事実、金属薄膜415及び電極405、406はエアギャップコンデンサを形成し、これが、次のように、放電されると膜412を偏向させる。まず、金属薄膜415を接地されかつ電極405、406も接地されるならば、誘電体膜412が図5b及び図6aの断面正面図に示されたように比較的平坦である。この状況において、マイクロストリップセグメント402と403との間のギャップはこの伝送線路内に大きなインピーダンスを課し、このスイッチは開かれる。逆に、電極405、406と接地金属薄膜415との間に正電圧が印加されると、電極405、406上に正電荷をかつ金属薄膜415上に負電荷を誘導し、これらの電荷が吸引力を発生し、この吸引力が図6b、cに図解されたように金属薄膜415（及び膜412）を電極405、406の方へ引き下げる。誘電体膜412は金属薄膜415が電極405、406に接触するのを防止し、そうであるから電極405、406の活性化中漏れ電流のみが流れる。図6b、cにまた図解されたように、金属薄膜415に加えて膜412を引き下げることが、金属板414を下へ動かしてマイクロストリップセグメント402、403をブリッジさせて、これらのセグメントの容量結合を提供する。それゆえ、伝送線路内の高インピーダンスが低インピーダンスと置換され、このスイッチが閉じられる。スイッチ400は、ほぼマイクロ秒内に引き下げ又は回復して立ち上がる。タイミングは引下げ電圧とのトレードオフである。高い電極電圧ほど速い引下げを意味し、かつスチフな（stiffer）膜ほど速い回復を意味するが、引下げのために高い電圧を要求する。

【0011】スイッチ400は、単極単投（SPSTとも称する）スイッチである。しかしながら、図50に概

略的に図解された送信／受信モジュールのような、スイッチ応用は、単極双投（SPDTとも称する）スイッチをしばしば要求する。図7に平面図で示されたように2つのスイッチ400を並列に集積すると、コンパクト構造の双投スイッチを提供する。スペーサ内の両開口をまたぐ単一金属薄膜及び誘電体膜を使用することができる。

【0012】本発明の好適実施例のスイッチは、オーム接続及び容量接続の両方、静電的及び熱的付勢、導体及び誘電体変形性膜、電気及び機械的回復力、及び局在及び支持素子導電を含む。スイッチ製造に使用される材料は、また、マイクロストリップ、ストリップ線路、コプレーナ（coplaner）導波管及びコプレーナストリップ線路を含む、種々な伝送線路構造の製造に使用される。

【0013】本発明の好適実施例のシステムは、図50の送信／受信モジュールにおけるような単一スイッチ及び図43a、b、44に図解された位相ステアド（steered）アパーチャ3400の時間ステアドサブアレイ（steered subarrays）内におけるようなスイッチのアレイの両方を含む。位相ステアドアパーチャ3400はサブモジュールの5 \times 5アレイを含み、各サブモジュール（図44）はアンテナ素子の4 \times 4アレイに加えて送信用電力増幅器及び受信用低雑音増幅器に更に加えて各アンテナ素子毎の4ビット移相器を含む。各サブモジュールは可変時間遅延網（発生される遅延毎に図43aに τ 、 2τ 、 \dots 、 $N\tau$ で標識されている）に接続し、これは図43bに示されたように5ビット切換え線路時間遅延であり単極双投スイッチ及び2進加重長遅延線路を備える。それゆえ、位相ステアドアパーチャ3400の総合解像度は9ビットである。

【0014】図43bにおいて、全経路長を、 $31/32D$ の全増加まで $D/32$ の単位増分によって変動させることができる。5ビット切換え線路時間遅延の各ビットは、1対の単極双投を含み、これが第kビットに対する $D/2^k$ である経路長差を持つ2つ可能経路長のうちのどちらかを選択する。図43bは、 $13/32D$ の全増加に対する $D/32$ 、 $D/8$ 、及び $D/4$ なる増加の選択を示す。単極双投の各対を、図8に図解されたような、単一U形膜上の3つの結合金属板601～603及び電極対611～613のみを使用するコンパクト配置によって置換することができる。電極611のみを付勢すると、金属板601を引き下げて、入力マイクロストリップを出力マイクロストリップに結合する。これに反して、電極612、613を付勢しかつ電極611を除勢すると、この直接結合を切断して、かつ遅延ループ内に結合する。

【0015】本発明の好適実施例のシステムは、移相器、時間遅延網、ビームセクタ、送信／受信二重化、及び周波数セクタを含む。

【0016】次の節は、これらのスイッチ及びシステムに加えてそれらの変種についての詳細を提供する。

【0017】

【実施例】

局在膜を備える好適実施例のスイッチ

1. 頂部金属板容量結合

図5a、b及び図6a～cは、本発明の好適実施例の容量性スイッチ400を平面図及び断面正面図で示す。垂直寸法は、明瞭のために誇張されていることに注意されたい。先行節は、スイッチ400の動作を概説し、かつその膜上の信号導通部分（板414）がこの膜の中心に局在化されることを指摘した。マイクロストリップセグメント402、403は、約50～75 μm の幅及び約0.4 μm の厚さを有する（スイッチ構造から遠ざかった所では、このマイクロストリップは約5 μm の厚さにめっきされる）、かつ約100～125 μm のギャップによって分離されている。電極405、406は、約0.4 μm の厚さを有しかつマイクロストリップセグメント402、403から約25 μm 間隔を取る。スペーサ410は、約2 μm の厚さであり、及び誘電体膜412は約0.2 μm の厚さでありかつ窒化シリコンで作られ、約0.4 μm の厚さの接着金属薄膜を備える。膜412、金属薄膜415、及び金属板414は、約7 μm の間隔を取った1 μm 孔のアレイを含み、これは、下側スペーサ層を除去しかつこのスペーサ内に開口を作るためにプラズマエッチングを可能にする。これらの図面は、明瞭のためにこれらのプラズマアクセス孔を示すのを省略している。同様に、次に説明される他の好適実施例も、プラズマアクセス孔を省略する。

【0018】膜412と金属薄膜415は、0.6 μm の全厚さを有し、かつ極めて従順性であるが、また、電極405、406が除勢された後、引き上げのための充分な回復力を提供する。事実、膜412及び金属薄膜415の厚さは、（どのような固着をも克服しかつ短いスイッチング時間を持つために）引き下げに要求される電極しきい値電圧と引き上げに要求される回復力とのトレードオフを提供する。スイッチ400にとって、約30ボルトの電極電圧で充分である。しきい値電圧は少しは低い。金属板414は、約0.5 μm 厚さ、約50～75 μm 幅、及び300 μm 長さである。それゆえ、マイクロストリップセグメント402、403上へ引き下げられるとき、金属板414は各セグメントの約250 μm に重なる。コンデンサ誘電体として窒化物膜412を用いると、金属板414はほぼ5pFの容量で以てマイクロストリップセグメント402及び403に容量結合する。それゆえ、伝送線路上の10GHz信号に対して、5pFコンデンサはほぼ3オームのインピーダンスを出現させる。逆に、金属薄膜415と同じ電圧にある電極405、406では、膜412内の張力がこれを平坦になるように約2 μm 引き上げ、これによって、窒化物の

0.2 μm から空気中の1.8 μm に加えて窒化物の0.2 μm へのその誘電体の変化に起因してほぼ75の率だけ金属板414とマイクロストリップセグメント402、403との間の容量を低下させる。それゆえ、開スイッチは、10GHzにおいて伝送線路にほぼ200オームのインピーダンスを課する。スイッチ400の寸法（約600 μm 長の金属板）は、10GHzでの信号波長（自由空間中で3cm及び実効比誘電率10を持つ材料上のマイクロストリップに対してほぼ1cm）に比較して小さい。

【0019】また、スイッチ400は、高周波容量結合に起因してマイクロストリップ間に直流阻止を提供する。事実、これは、容量結合を用いる次のスイッチの全てについて云える。

【0020】基板401は、種々の材料で作られる。例えば、サファイヤ上のシリコン、ガリウムヒ素（GaAs）、アルミナ、ガラス、絶縁体上のシリコン等。シリコン基板上の厚い酸化物領域上のスイッチの形成は、スイッチと同じダイ上に集積されるべき、充電ポンプを含む制御電極用制御電子回路を可能にする。酸化物は、また、シリコン基板に関連した誘電損を減少させることを助ける。同様に、スペーサ410は、ホトレジスト、PMMA等のような種々の材料で作られてよく、又は次に説明される或る好適実施例におけるように導電性であってよく、したがって種々の金属で作られる。

【0021】膜412は、石英、二酸化シリコン、窒化シリコン、種々の型式の有機ポリマー、及びPLZT、SBN、BST、及びGaAs、InPのような強誘電体材料、及びこのような材料の成層品型のような多くの様々な誘電体で作られてよい。しかしながら、付勢電荷として作用するであろう誘電体中の静電荷の蓄積を回避するためには、漏えい性誘電体が使用されるべきである。

【0022】図9a～cは、それぞれ、700、730、及び760で標識されたスイッチ400の変種を平面図で示す。スイッチ700は、入力及び出力マイクロストリップセグメントを交差指の形に有する。この幾何学的形状は、より短いしかし広いスイッチを許す一方、スイッチ400と同じ容量結合を提供する。スイッチ730は、入力及び出力マイクロストリップセグメントを並べて有し、これもまたスイッチを短くする；図9bは制御電極を示すが、明瞭のために金属板及び金属薄膜を省略し、かつマイクロストリップセグメントに対してギャップを残す2つの馬てい形スペーサを指示する。スイッチ760は、マイクロストリップセグメント端間に接続された2つの電極を有する。これは、簡単な電極接続に加えて絶縁を増大するためにマイクロストリップ端間の高周波接地を提供する。

【0023】2. 誘電体膜容量結合

図10a～cは、スイッチ800を、マイクロストリップ

部に沿う断面正面図で、及びスイッチ400と同じだが金属板を省略した平面図で示す。スイッチ800は、その誘電体を切り換えて、マイクロストリップセグメント802、803を空気から膜812の窒化物に結合させ、これによってその容量結合を約7の率だけ増大させることによって動作する。少なくとも1~5 μ m深さ、20 μ m長さ(かつ少なくともマイクロストリップセグメントだけの幅の)トレンチ820が、基板を通しての容量結合を制限する。また、トレンチ820は、マイクロストリップセグメント802、803が互いに接近して置くのを可能にし、かつ金属電極コネクタ825はトレンチ820内を通して延びてよく、基板を通しての容量結合を更に少なくするために高周波接地を提供することに加えて電極805、806への接続を簡単化する。接地金属薄膜815、816は、電極805、806を覆う膜812上に横たわる。図10aはスイッチ800が開いているのを示し、図10bは電極805、806が活性化されかつスイッチ800が閉じているのを示す。

【0024】スイッチ800は、(スイッチの開いているときの空気)の比誘電率約1から(スイッチが閉じているときの)膜の比誘電率への比誘電率の変化に依存する。それゆえ、膜812を、オフインピーダンスとオンインピーダンスの比を増大させるために、PLZT、BST、SBN等々のような強誘電体で作ることができるであろう。

【0025】もちろん、スイッチ400は、トレンチ820及びコネクタ825に類似のトレンチ及び電極コネクタを有することができるであろうし、及びスイッチ800はスイッチ700に類似の交差指マイクロストリップセグメントを有することができるであろう。

【0026】3. 下側金属板オーム結合

図11a~bに断面正面図で図解されたように、スイッチ900で以て誘電体膜の下側に金属板を置くことによって、本発明の好適実施例のスイッチ400をその容量結合をオーム結合で置換するように修正することができるであろう。オーム結合は、直流又は低周波信号のスイッチングをまた可能にする。基本的に、金属板914は、マイクロストリップセグメントとの直接金属-金属接触を提供するために金属膜912の下側に置かれる。図11aは、金属膜912がマイクロストリップセグメント902、903の上方約2 μ mに懸垂された開位置を示し、及び図9bは金属板914がマイクロストリップセグメント902、903をブリッジしてオーム接続する閉じたスイッチを示す。オーム接続を用いて、スイッチ900はスイッチ400より遥かに小さくてよく、それは高容量結合に対するマイクロストリップセグメント上の金属の大きな重なり面積がオーム結合に対しては必要ないためである。しかしながら、オーム結合面積は、電流密度を、その接触が高温点(hot spot)

ts)又は溶閉(welding closed)を伴うことなく維持できる電流密度に制限するに充分でなければならない。それゆえ、その寸法は応用に依存する。金属板914及びマイクロストリップセグメント902、903の両方共、オーム接触を提供するために金又は金めっきでよい。

【0027】4. 下側金属板容量結合

図12はスイッチ900の変種としてスイッチ1000を示し、これは膜1012の下側に金属板1014を備えるが、マイクロストリップセグメント1002、1003上に誘電体コーティング1020を備えて容量結合を提供する。非常に薄い(<0.03 μ m)誘電体層1020は容量結合を増大するためにマイクロストリップセグメント上に使用されるが、それはこの誘電体層がスイッチ800内の膜812のような機械的強度を有する必要がないためである。また、高比誘電率材料を誘電体層1020に使用することができるであろう。例えば、アルミナ、PLZT、BST等である。

【0028】5. 金属被覆膜容量結合

図13a~bは、マイクロストリップセグメント1102、1103を覆う窒化シリコン薄膜1112上に金属薄膜1115を有する本発明の好適実施例のスイッチ1100を平面図及び断面正面図で示す。スイッチ1100は、引下げ電極が吸引するための接地金属薄膜及びマイクロストリップセグメントの容量結合のための分離金属板ではなくて、全誘電体膜を覆う単一金属薄膜1115を有することによって、スイッチ400と異なる。接地金属薄膜1115は、高周波絶縁用に接地誘導接続を有する。電極吸引及びマイクロストリップセグメントの誘導性結合の両方のための単一金属薄膜1115の使用は、より簡単な製造しかし大きな寄生容量と云うトレードオフを提供する。

【0029】図13cは、マイクロストリップセグメントがまた金属膜の引下げ用直流電圧を提供するようになっているスイッチ1100の無電極品型を平面図で発見的に図解する。特に、このスイッチ内のマイクロストリップセグメントの部分のこのマイクロストリップの残りの(直列コンデンサ、及びチョークを通しての直流制御電圧による)直流絶縁は、電極としてのマイクロストリップセグメント自体の使用を可能にする。膜の慣性のゆえに、変動する高周波電圧はスイッチ動作に影響を及ぼさない。それゆえ、このスイッチは、幅狭く作ることができるがかつ高周波動作に対して最適化される。

【0030】スペーサの下を通る接地線路を備えるコプレーナ導波管のような、他の伝送線路幾何学形状を使用することもできる。

【0031】6. 金属膜オーム結合

図14aは、マイクロストリップセグメント間にオーム接続を発生するように引き下げするマイクロストリップセグメント1202、1203を覆う金属薄膜1215

を有する本発明の好適実施例のスイッチ1200を断面正面図で示す。スイッチ1200は、引下げ電極が吸引するために及びマイクロストリップセグメントの結合のために単一接地金属薄膜1215を有することによってスイッチ1100を踏襲する。接地金属薄膜1215は、また、高周波絶縁用に接地誘導接続を有する。

【0032】金属薄膜1215は、アルミニウム、金、チタン-タングステン、又はTiW/Pt/Auのような層構造で作られてよい。

【0033】図14b~cはスイッチ1200の変種を平面図及び断面正面図で示し、このスイッチは各短い端において金属ポスト1221、1222上に懸垂されたほぼ方形を意図した金属薄膜1215を備え及び各長い端への結合マイクロストリップセグメント1202、1203を備える。ポスト1221、1222に印加される電圧は金属薄膜を接地基板へ向けて引き下げ、これがマイクロストリップへのオーム接触を作る。これらのポストに隣接する金属薄膜1215の部分はその中央部分より狭く、そうであるから金属薄膜1215は、図14dに図解されたようにこれらのポストに隣接した部分で主として曲がる。

【0034】7. 誘電体被覆マイクロストリップを備える金属薄膜誘導結合

図15a、bは、誘電体被覆1332、1333を有するマイクロストリップセグメント1302、1303を覆う金属薄膜1315を有する本発明の好適実施例のスイッチ1300を断面正面図で示す。スイッチ1300は、引下げ電極が吸引するために及びマイクロストリップセグメントの容量結合のために単一接地金属薄膜1315を使用することによってスイッチ1000を踏襲する。接地金属薄膜1315は、また、高周波絶縁用に接地誘導接続を有する。更に、電極1305、1306は、また、活性化中の短絡を回避するために誘電体ポストの下に誘電体被覆を有するか又はへこまされている。図15bは、図15aの面に垂直な線に沿う断面図であり、かつへこみ電極を図解する。図15aは、へこみ電極コネクタ1307を示し、このコネクタは電極1305と1306を接続し、かつまたマイクロストリップセグメント1302、1303の絶縁に貢献する。

【0035】構成要素膜を備える好適実施例のスイッチ1. 金属膜構成要素オーム結合

図16a、bは、1つのマイクロストリップを誘電体膜に接続することによって先に説明されたスイッチと異なる本発明の好適実施例のスイッチ1400を平面図及び断面正面図で示す。特に、スイッチ1400は、2 μ m厚さの二酸化シリコン層すなわち酸化層1401を備えるシリコン基板を含み、酸化層1401の表面上にかつ環状スペーサ1410内の開口内に伝送線路マイクロストリップセグメント1402、1403及び制御電極1406を備える。金属膜1412は、スペーサ14

10上に横たわりかつこの開口をまたぎ、その外側で下へ延びてマイクロストリップ1403に接続する。金属膜は、スイッチ作用に供するために高周波信号導通及び機械的偏向を、それぞれ、提供する。スイッチ1200に関してのように、金属膜1412及び電極1406はエアギャップコンデンサを形成し、このコンデンサが充電されると、膜412を偏向させ、これによって膜1412を通してマイクロストリップセグメント1402のマイクロストリップ1403セグメントへのオーム接続を作る。

【0036】電極1406は酸化物1401内のへこみ内に横たわり、及び、加えて、各々直径が約2 μ mの酸化物のポスト1430のアレイが約5 μ mの間隔を取って電極1406を通して突起し、それであるから、活性化電極が金属膜1412を下へ引くときこの膜は電極1406に接触しない。

【0037】環状スペーサ1410は、約400 μ mの外径、約250 μ mの内径（開口）、及び約2 μ mの高さを有する。マイクロストリップセグメント1402

は、電極1406から分離されるために50~75 μ m幅から25 μ m幅へ狭められることがあるが、開口の中心にあるその円形端子において再び50~75 μ mとなる。このことが、膜1412との大きな接触面積、したがって、小さい動作電流密度を許す。電極1406は、酸化物1401内の1 μ m深さのへこみ内に横たわることがある。電極1406と膜1412との間のほぼ30ボルトがこの膜を引き下げて、マイクロストリップ1402との接触させることになる。膜1412は、アルミニウムで作られ、かつ約0.4 μ m厚さである。これにより、電極1406の除勢の際、膜1412をマイクロストリップ1402から引き上げかつ水平に戻すための十分な回復力を提供する。もちろん、膜1412及びマイクロストリップ1403の直流接地は、接地チョーク（図示されていない）に加えてマイクロストリップセグメント1403の残りからこの膜を直流絶縁する直列コンデンサ（図示されていない）を通る。

【0038】図17a、bは、スイッチ1400に対する円形幾何学形状ではなく方形幾何学形状を平面図及び断面正面図で示す。この方形品型において、膜1412の一方の側は垂直金属パイハ1450を通してマイクロストリップセグメント1403に接続する。

【0039】2. 金属薄膜構成要素容量結合

図18a、bは、スイッチ1400と同じであるが、マイクロストリップセグメント1502上の薄い（<0.05 μ m）誘電体被覆1520を備える本発明の好適実施例の容量性スイッチ1500を平面図及び断面正面図で示す。これは、金属膜1512がマイクロストリップセグメント1502に接触するのを防止しかつスイッチ1000及び1300に類似のマイクロストリップの容量結合を提供する。

【0040】図19a、bは、電極を省略しかつ直流引下電圧をマイクロストリップ1502及び1503の直流絶縁部分に印加するスイッチ1500の無電極品型を平面図及び断面上面図で示す。コンデンサ1532、1533は絶縁を提供し、及びインダクタ1542、1543はマイクロストリップ間に引下電圧を印加するためのチョークを提供する。

【0041】3. 金属膜に加えて誘電体膜構成要素容量結合

図20は、膜が上側金属薄膜1615を備える誘電体膜1612であることを除きスイッチ1400に類似しているスイッチ1600を断面正面図で示す。誘電体膜1612はオーム接触を防止するが、下側マイクロストリップの金属薄膜1615を通してのマイクロストリップへの容量結合を提供する。誘電体膜1612の使用は、また、引下電極をへこませる必要を除去する。図20は、引上げ及び引下げ膜位置の両方を示すことに注意されたい。

【0042】4. 金属膜に加えて誘電体膜構成要素オーム結合

図21は、膜が下側金属薄膜1715を備える誘電体膜1712であることを除きスイッチ1400に類似しているスイッチ1700を断面正面図で示す。これは、スイッチ1400におけるように、その膜の追加誘電体被覆でオーム接触を提供する。

【0043】トーション／フレクチャフラップ (torsion/flexure flap) を備える好適実施例のスイッチ

1. 金属フラップトーションオーム結合

図22a、bは、2つの薄い金属ヒンジ1821、1822によって懸垂されたスチフ (stiff) 金属フラップ1812によって先に説明された膜スイッチと異なる本発明の好適実施例のスイッチ1800を平面図及び断面正面図で示す。これは、図3a、b及び図4a、bの空間光変調器トーションビームに類似している。直列接地フラップ1812と電極1802との間の電圧の印加は、フラップ1812を吸引しかつこのフラップをこれらのヒンジを通る軸の回りに (図22bにおいて) 反時計方向に回転させる。これが、このフラップの1つの縁を引き下げてマイクロストリップセグメント1802、1803に接触させて、マイクロストリップ間にオーム接続を形成して、このスイッチを閉じる。フラップ1812は、チョークインダクタによって接地から高周波絶縁される。この印加電圧の除去が、ねじれたヒンジを弛緩させ、フラップ1812を図22bにおけるように基板に平行に復帰させる。逆に、電極1805へ印加された電圧は、ヒンジを時計方向にねじり、フラップ1812の反対縁をランディングパッド1807へ向けて動かして、更にこのスイッチを開く。それゆえ、電極1806上の引下電圧が除去されると同時に電極18

05へ電圧を印加することによって、ねじれたヒンジのみをただ弛緩させるのではなくて、スイッチの電気的開放を提供する。事実、厚い (金めっき) マイクロストリップセグメント1802、1803は、印加電極電圧のない場合、フラップ1812とマイクロストリップセグメントとの間の小ギャップを意味する。それゆえ、このフラップ1812は依然としてマイクロストリップ表面に平行に近いので、このフラップはこのマイクロストリップと大きな接触面積を有することになる。 (特に軟金マイクロストリップ表面との) 大きな接触面積は、その接触における電流密度を制限しかつスイッチ寿命を延長する。

【0044】金属フラップ1812は、約200 μ m幅 (ヒンジの回転軸から100 μ m突出する) 及び可なり厚く (5 μ m)、いくらかのスチフを保ちかつたるみを回避すると云える。ヒンジ1812、1813は、図22c及び図23aに図解されているようにスペース上の周囲金属層に取り付けられてよく、又は (図14b～dにおけるスイッチに類似の) 金属ポストに又は図23bに図解された一連の金属ポストにも取り付けられてよい。

【0045】2. 金属フラップトーション容量結合

図24aは、マイクロストリップ誘電体被覆を含むが、その他の点ではスイッチ1800に類似しているスイッチ1900を示す。特に、マイクロストリップ1902、1903は、誘電体被覆1920を有する。それゆえ、電圧が電極1906に印加されると、フラップ1912がヒンジ1921、1922の回りに回転してフラップ1912の1つの縁を引き下げて、これらのマイクロストリップに接触させ、容量結合が形成する。

【0046】図24bは、トーションビーム1912による代替容量結合を示し、ここでマイクロストリップ1902、1903はビーム1912の縁の長さだけの分離を有する。それゆえ、ビーム1912が分離空間内へ引き下げられると、このビームは容量的に各マイクロストリップと結合し、これによってこのスイッチを閉じる。

【0047】3. 金属フラップフレクチャオーム結合

図25a～cは、各隅でフレクチャヒンジ2021～2024によって懸垂された方形金属フラップ2012、へこみ電極2006、及びフラップ2012の下を通るマイクロストリップ2002、2003を含む本発明の好適実施例のスイッチ2000を平面図及び断面正面図で示す。フラップ2012は、これらのヒンジより厚くかつ高周波チョークによって接地されている。スイッチ2000は、次のように動作する。電極2006とフラップ2012との間に電圧が印加されないならば、図25bにおけるようにヒンジ2021～2024はフラップ2012をマイクロストリップ2002、2003の上へ立ち上がるように保持し、このスイッチは開かれ

る。逆に、これらの電極とこのフラップとの間に電圧が印加されると、フラップ2012は引き下げられてヒンジを曲げ、これらのマイクロストリップと接触させ、これによって、図25cにおけるようにこのスイッチを閉じる。この電極電圧が除去されると、これらのヒンジは弛緩し、このフラップを引き上げてこのスイッチを開く。

【0048】スイッチ1800におけるヒンジに類似して、ヒンジ2021~2024は、スペーサ又はポストに接続してよい。

【0049】4. 金属フラップフレクチャ容量結合
図26は、容量結合のためにマイクロストリップ2102/2103上の（及びへこみの必要を除くために電極2106上の）誘電体被覆2120によってスイッチ2000とまさに異なる本発明の好適実施例のスイッチ2100を断面正面図で示す。ヒンジ2121~2124は、スペーサ上の金属層への接続又は金属ポストへの接続のどちらかによってフラップ2112を支持する。

【0050】引上げ及び引下げを用いる好適実施例のスイッチ

1. 上側引上げ金属膜を備える金属膜

図27は、スイッチ1400に類似しているが、マイクロストリップ2202に接続する金属膜2212用引上げ電極として作用する追加側金属被覆誘電体膜2256を備える本発明の好適実施例のスイッチ2200を断面正面図で示す。スイッチ1400に関してのように、へこみ電極2206と膜2212との間に印加された電圧は、この膜を引き下げてマイクロストリップ終端と接触させ、これによってこのスイッチを閉じる。逆に、上側膜2256と金属膜2212との間に電圧が印加される（一方、下側電極2206と膜2212との間には電圧が印加されてない）ならば、膜2212が引き上げられて、このスイッチを開く。それゆえ、スイッチ1800、1900に類似して、スイッチ2200は、スイッチの開及び閉の両方のために電氣的に付勢を行い、スイッチを開放するために機械的回復に専ら依存することはない。

【0051】図27は、また、スペーサ2210、2211及びこれらの膜の両方内のプラズマアクセス孔を示す。スイッチを次のようにして製造することができるであろう。まず、下側電極及びマイクロストリップを形成し、スペーサをスピノンしかつパイアを形成し、金属を堆積し、それを膜2212に加えて上側膜に対する垂直接続の部分にパターン化し、この金属堆積は、また、これらのパイアを充填して垂直接続を作り、第2スペーサ層をスピノンしかつパイアを形成し、金属を堆積しかつそれをパターン化して上側電極膜を形成し、最後にプラズマエッチングして不要スペーサを除去する。

【0052】先に説明された他の実施例もまた、電氣的スイッチ開放させるために膜2256に類似した上側引

上げ電極を有してよい。上側引上げ膜は、スペーサではなくポストによって支持されることもでき、それであるから電氣的引上げを備える無スペーサスイッチを作ることができる。この場合、積重ねポスト間に絶縁層が必要とされることになる。

【0053】双安定フラップを備える双安定実施例のスイッチ

1. 双安定膜オーム結合

図28a、bは、図28bに図解された屈曲の2つの安定状態を有する圧縮ひずみを伴って形成されたスチフバイメタル膜又は薄膜2315の使用によって先に説明されたスイッチと異なる本発明の好適実施例のスイッチ2300を平面図及び断面正面図で図解する。TiW、二酸化シリコン、及び窒化シリコンは、全て、圧縮ひずみを伴って容易に堆積され得る。誘電体膜に対しては、その底側に薄い金属被覆が施される。1つの屈曲状態は、その膜がそのマイクロストリップから分離された開スイッチ（図28bの2315開）に相当し、及び第2状態は膜がマイクロストリップ間にオーム接続を作る閉スイッチ（図28bの2315閉）に相当する。これらの状態を、膜2315と引下げ電極2305、2306との間又は膜2315と上側引上げ電極膜2356との間のどちらかに印加された電圧によってトグルすることができる。いったん膜2315が2つの状態の1つに入ると、この膜をその状態に保持するために更に電圧を印加する必要はなく、機械的回復力は存在しないことに注意されたい。及び他の無電極スイッチ実施例に関してのように、直流絶縁に加えて高周波チョークが引上げ（かつもしそれもまた無電極であるならば引下げ）電圧に対して使用される。引上げ及び引下げ電極の両方の使用は、図27の構造に類似している。バイメタル膜2315は、金属パイア2321、2322に取り付けられており、それであるからこの膜は弛緩できない。製造はポストを使用するスイッチ1200のそれに従うであろうが、もっともスペーサ品型をスイッチ2200に類似して作ることができるであろう。どちらの場合にも、ひずみ膜はひずみの弛緩を回避するために固定支持体に取り付けられねばならない。

【0054】代替的に、バイメタル双安定膜を、この膜の抵抗を使用しかつ直流電流をこの膜に流す熱サイクリングによって屈曲状態間にトグルさせることができる。この場合、上側引上げ電極膜2356ばかりでなく、引下げ電極も省略してよい。更に、直接レーザビーム加熱をこのトグル動作のために使用することがある。

【0055】（支持パイア間の）膜の長さ及び厚さはスイッチ寸法、膜ひずみ、及びオイラーの座屈判定基準（Euler buckling criterion）に依存し、この判定基準は、もしひずみが膜の厚さを長さで除した商の平方の $\pi^2/3$ 倍を超えるならばその膜は座屈する旨を明言している。

【0056】2. 双安定膜容量結合

スイッチ2300は、そのマイクロストリップ上に誘電体被覆を施すか、又は金属被覆誘電体膜を使用することによって、容量結合スイッチに転換され得る。特に、 $0.4\mu\text{m}$ 厚さのアルミニウム頂部被覆を備える $1.5\mu\text{m}$ 厚さ、及び $400\mu\text{m}$ 長さ $\times 30\mu\text{m}$ 幅のシリコン膜を使用することができるであろう。

【0057】3. 構成要素としての双安定金属膜

スイッチ2300は、また、スイッチ1400に類似して、金属薄膜又は金属被覆誘電体薄膜を支持する金属バヤに取り付けられた1つのマイクロストリップ及び膜の下の一マイクロストリップに接続され得る。

【0058】4. 頂部接触を備える双安定金属膜

図29は、スイッチ2300の修正としてのスイッチ2400を示し、このスイッチにおいて頂部引上げ電極膜2456は、圧縮ひずみ膜2415と接触する。これは、第3マイクロストリップを引上げ膜バヤに接続しかつ真性単極双投を形成することを可能にする。すなわち、圧縮ひずみ膜2415に接続された入力マイクロストリップは、膜2415が下げられるとき第1出力マイクロストリップ2302に接続されるか、又は膜2415が上げられるとき頂部引上げ電極膜2456を通して第2出力マイクロストリップに接続されるかのどちらかである。

【0059】好適実施例の多投スイッチ

上述の本発明の好適実施例のほとんど全ては、単極単投スイッチである。しかしながら、これらのスイッチは、また、広い応用を有する多くの関連スイッチに対する基礎を提供する。

【0060】1. 単極双投

図7は、単一膜を用いて作られた単極双投を示し、図8は単一膜を用いて形成された2つの単極双投の組合せ品型である。同様に、図29は、単極双投を図解する。

【0061】図30a、bは、トーションフラップ単極双投スイッチ2500を示し、このスイッチはトーションフラップの回転軸のどちらかの側上の電極2505、2506を用いるヒンジ2521、2522によって支持される金属フラップ2512を含む。マイクロストリップ2502上の入力は、マイクロストリップ2503又は2504のどちらかへ伝わる。更に、スイッチ2500を、図30cに図解されたような上側接触対によって修正することができるであろう。この場合、トーションフラップは高周波絶縁され、かつマイクロストリップ2502を片持ち導体2552に接続する又はマイクロストリップ2503を片持ち導体2553に接続する導管としてまさしく作用するであろう。

【0062】図31は、スイッチ1400の単極双投品型と考えらることもできる単極双投スイッチ2600を平面図で示す。金属膜2612は、バヤを経由して入力マイクロストリップ2602に接続し、かつへこみ引

下げ電極2605、2606の上へ広がる。電極2605と膜2612との間の直流引下げ電圧で以て、この膜を引き下げてマイクロストリップ2603と接続させて、1つのスイッチを閉じる。逆に、電極2606の付勢によりこの膜をマイクロストリップ2604へ引き下げて、他のスイッチを閉じる。膜2612は、約 $250\mu\text{m}$ 幅及び約 $400\mu\text{m}$ 長さであってよく、これらのマイクロストリップの上約 $2\mu\text{m}$ の所へ懸垂される。直流約30ボルトが厚さ $0.4\mu\text{m}$ のアルミニウム膜を引き下げることになる。

【0063】2. 単極三投

図32a、bは、単極三投（SP3Tとも称する）スイッチ2700を平面図及び断面正面図で示し、このスイッチはスイッチ1400に類似の隣接する3つのスイッチから作られ、かつバヤを経由して入力マイクロストリップ2701に接続された共通金属膜2712、3つのへこみ電極2705～2707、及び相当する出力マイクロストリップ2702～2704を備える。五角形、六角形等に対称的に、又は次の節において図解されるように直線的にのいずれいかに、平面幾何学形状を拡張することによって、より多くのマイクロストリップ及び引下げ電極を含むことができるであろう。

【0064】単極三投スイッチ2700の容量結合品型は、その3つの下側マイクロストリップの端部上の誘電体被覆によって容易に実現されると云える。及び、それらの電極は、また、誘電体被覆を有することもでき、これによってへこまされるのを回避できるであろう。

【0065】3. 単極多投

図33aは、六投スイッチ2800を平面図で示し、これを図33bに発見的に図解されたフィルタに使用することができるであろう。スイッチ2800は、金属膜2812を含み、これをスペーサ2810が6つの出力マイクロストリップOUT1～OUT6及び相当するへこみ電極の上に懸垂する。入力マイクロストリップ及び出力マイクロストリップは、垂直バヤを経由して膜2812の反対端に接続し、かつ各々は膜2812の過容量を打ち消すためにインダクタを含む。各電極は、膜2812の部分を引き下げて、その相当する出力マイクロストリップと接触させる。他の実施例に関してのように、膜2812は、入力マイクロストリップ及び出力マイクロストリップから直流絶縁されて、適正な直流電位、典型的に接地を提供することになる。

【0066】図33bのフィルタ又はインピーダンス整合応用において、OUT1～OUT6と標識された6つの出力マイクロストリップは、集中又は分布又はスタブコンデサC1～C3及びインダクタL1～L3のいずれかを通して接地する。

【0067】好適実施例の分路スイッチ（shunt switch）

図34aは、分路一直列一分路スイッチ構成を図解し、

及び図34bは上述の膜スイッチを利用する本発明の好適実施例のスイッチ2900を平面図で示す。特に、金属膜2911は、引き下げられて入力マイクロストリップと出力マイクロストリップとの間に直列接続を作り、及び金属膜2912は引き下げられて両マイクロストリップに対し分路—接地接続を作る。

【0068】図34c及び図35aは、接地線路2940、2941及び中央線路2942を備えるコプレーナ導波管用分路スイッチ2930を平面図及び断面正面図で示す。パイア2945、2946は、金属膜2932を中央線路2942の上約2 μ mに懸垂しかつこの膜を接地線路に接続する。中央線路2942は、誘電体2943で以て被覆され、かつ無電極動作のために直流絶縁される。中央線路2942に印加された引下げ電圧は、膜2932を引き下げて、中央線路を容量的に接地する。

【0069】図35b、cは、狭帯域単極双投スイッチを示し、このスイッチは接地へのアームの1つの選択分路を使用する。これは、オフ容量問題を回避し、かつ適正整相を達成するために共振伝送線路を使用する。スイッチを接地する個別分路は各々スイッチ2930のようでよく、又は図36a、bに図解されたように単一膜と組み合わせられてよい。代替的に、トーションフラップスイッチ2500を、接地されたフラップと共に使用することもできる。また、上述のスイッチをそのマイクロストリップ上の誘電帯被覆によって接地に容量結合することができるであろう。

【0070】好適実施例の製造方法

上述のスイッチを、図37a～c、図38a、b、及び図39に図解された本発明の次の好適実施例の方法によって、又はこれらの方法の変種によって製造することができる。

【0071】1. スペース支持スイッチ用方法

酸化シリコン基板で以て開始する。スイッチのエリヤから遠ざかることが必要とされる、CMOS制御論理デバイスのような、どれかの他のデバイスを形成し、かつこれらのデバイスを保護被覆で以て覆う。次いで、ホトリソグラフィーによりへこみ電極の場所を区画し、かつ定時エッチング (timed etch) (ふっ素プラズマ又はHF湿式エッチング) で以て酸化物をエッチングし、へこみはステップカバレッジ (step coverage) を助けるために傾斜側壁を持つことがある。エッチングを、所望深さ、例えば、電極厚さより1 μ m深くエッチングする。図37a参照。次いで、へこみ内へ及び酸化物表面上に延びるマイクロストリップ及び電極を形成するためにリフトオフ金属 (例えば、TiW/Pt/Au) を堆積する。もしマイクロストリップをスイッチから遠ざかった所でより厚く (例えば、約5 μ m) しようとするならば、これらのマイクロストリップをより深くへこませるようにまた電気めっきする。スベ

ーサ材料 (例えば、2 μ mのホトレジト又はポリアミド) をスピンオンし、これが表面を平坦化する。このスペースを露出し、それを、最終金属膜から相当するマイクロストリップへ下がる垂直接続用パイアの形に現像する。図37b参照。焼成は、より良好なステップカバレッジのためにスペースの側壁を傾斜させることになる。次に、金属薄膜を堆積する (例えば、厚さ0.4 μ mでアルミニウムをスパッタする、又は低温CVDタンングステン)。これが、またパイア側壁を覆う。次いで、ホトレジストをスピンオンし、かつ、これを、膜 (約400 μ m直径) に加えてパイア内への接続、更に加えてプラズマアクセス孔を区画するように、パターン化する。次いで、金属薄膜をエッチングする (例えば、Alに対してKOH)。図37c参照。最後に、膜の下に開口を形成する一方、この膜を支持する環状スペースを残すようにスペースのプラズマエッチングを遂行する。

【0072】このプロセスは、比較的直載的で、シリコンCMOS処理のような低コスト処理と両立性であり、そのスイッチを、これを制御する電極を駆動するための回路用CMOS制御電子回路又は他の論理回路と共に集積することができる。

【0073】2. パイアーポスト支持されたスイッチ用方法

まず、ホトレジストをスピンオンし、かつこれを電極及びマイクロストリップ用場所を区画するようにパターン化する。次に、リフトオフによって金属 (例えば、ほぼ0.3 μ m厚さのTiW/Pt) 線路を堆積する。図38a参照。次いで、スイッチから遠ざかるマイクロストリップの部分のなんらかの必要電気めっきを行う。プレーナ化スペースの2 μ m厚さ層を堆積する、例えば、ホトレジスト又はポリアミドをスピンオンする。このスペース上に所望の厚さに膜金属の層を堆積する。その厚さは、膜材料、スイッチ寸法、及びスイッチング速度に依存することになる。例えば、スイッチ1200は、約0.4 μ m厚さのアルミニウムを有する。次いで、ホトリソグラフィーによってこの金属層を膜寸法にエッチングし、かつこのスペース内に電極へ下がるパイアをエッチングする。図38b参照。これらのパイアを充填するために共形金属 (conformal metal) (例えば、CVDタンングステン) を堆積し、かつホトリソグラフィーでこの共形金属をエッチングしてこのパイア内以外のあらゆる所でこの金属を除去する。

【0074】代替的に、パイアをまず形成し、次いで膜金属及びパイア金属を同じステップにおいて堆積する、又は連続ステップで薄い下側金属上の厚い金属に対するリフトオフを用いて堆積することもできる。

【0075】好適実施例の移相器

1. 切換え線路遅延移相器

図40は、本発明の好適実施例の4ビット切換え線路時間遅延移相器 (switched line time

delay phase shifter) の概略を示す。各ビットは2つの単極双投スイッチを含み、このスイッチは2つの可能線路長経路のどちらかを選択する。これらの単極双投スイッチは、本発明の好適実施例のどれかのスイッチであってよい。特に、図8は組合せ単極双投を示す。

【0076】2. 直角位相ハイブリッド結合時間遅延移相器

図41aは、本発明の好適実施例の単極単投スイッチを備えた3ビット直角位相ハイブリッド結合時間遅延移相器を概略的に図解する。直角位相ハイブリッド結合器は、2つの3dB出力ポート上に置かれた同等の反射係数によって反射信号がハイブリッド絶縁ポートにおいて建設的に加算されかつハイブリッド入力ポート上で破壊的に加算される（すなわち打ち消し合う）と云う性質を有する。入力ポートにおける破壊の消去は、このハイブリッド移相器がそのインピーダンス整合性を維持することを可能にする。絶縁ポートにおける結果の建設的加算信号の位相は、ハイブリッド出力ポートに置かれた反射係数の位相と1:1関係を有する。もし単位の大さの反射係数が使用されるならば、全反射が起こり、これが反射係数の位相によって決定される位相で以てハイブリッド入力ポートからハイブリッド絶縁ポートへの無損失伝送を生じる。

【0077】純リアクティブ回路（強度反射係数が1）が、スイッチ位置によって決定されるようにハイブリッド3dB出力ポート上に作られる。種々のハイブリッド移相器上の線路長の異なる対を使用することによって、要求された位相ビットがスイッチ状態の対により決定される異なる移相を発生することになる。3つの各ハイブリッドビットの従属接続は、45度増分単位で0から360度のどの位相をも実現することを可能にする。

【0078】図41bの類似型移相器設計を、3dB直角位相結合器の代わりに3ポートサーキュレータを使用することによって実現することができる。やはり、各ビットの伝送信号位相は、信号を元々は絶縁されていたポートへ反射するサーキュレータ出力ポート上のスイッチの位置によって確立される。その利点は、各ビットが要求伝送位相差を確立するために1つのスイッチしか必要としないと云うことである。

【0079】3. 周期的負荷線路移相器

周期的負荷線路移相器は、切換えサセプタンスの対で以て周期的に負荷される伝送線路を含む。同等の切換え可能サセプタンスは、接地単極単投スイッチと共に図42に示されたように伝送線路に沿って約1/4波長間隔を取って配置されている。しかしながら、図33aにおけるような本発明の好適実施例の単一多投スイッチが入/出接地されたマイクロストリップと共に使用されている。同等のサセプタンスの各対からの反射は打ち消し合う傾向があるので、伝送線路インピーダンス整合が維持

される。切換え可能サセプタンスの各対は、全所望移相微分の増分を発生する。もし各サセプタンス対が微分移相の22.5度を発生するならば、22.5度の増分単位で0から360度のどんな位相をも確立するために32スイッチが必要とされるであろう。

【0080】好適実施例の時間遅延網

1. アパーチャ充填時間補償網

図43aは、横形アンテナ（broadside）から角 Θ 外れた方向からの長さLのアレイへ入射した信号波頭は、それがこのアレイの最初の素子へ走行するよりも最後の素子までは更に $L \sin \Theta$ の距離を走行することを示す。信号にとってアレイの全ての素子に出現するために要する時間は、 $T = (L/c) \sin \Theta$ であり、ここにcは自由空間中の光速である。この時間Tは、アパーチャ充填時間として既知である。パルス駆動システム及び大形アレイに対しては、これは瞬時帯域幅制限率であり得る。この問題を軽減又は除去するために、切換え可能時間遅延網（図43bは好適実施例の単極双投又は図8におけるような組合せ単極双投スイッチを使用する）を、各素子の又はアレイの素子の各サブアレイの背後に組み込むことができる。図44は、位相ステアアパーチャ内の時間ステアサブアレイとして使用することができるであろう4×4サブアレイを示す。この移相器は、図40に示されたようなものである。もし各サブアレイ電力増幅器が16ワットであるとしたならば、各素子は1ワットまで受信することができるであろう。サブアレイ3400の各素子は、約8.9cmの側長を持つ方形パッチ放射器である。

【0081】2. デジタル位相走査

図45は、デジタル位相走査直線アレイの概略を示す。各ハイブリッド移相器は直角位相結合デバイスであって、かつ固定時間遅延移相器及び本発明の好適実施例の単極双投高周波スイッチと相互接続されている。固定移相器の各々は、この図に示されたように22.5度（ $\pi/8$ ラジアン）の倍数である。スイッチ状態の適当な選択によって、 ± 22.5 、 ± 67.5 、 ± 112.5 、及び ± 157.5 度の素子対素子位相増分を達成することができる。これら8つの直線素子対素子位相分布の各々は、空間内に分離ビームを形成することになる。しかしながら、一度に1つのビームしか形成されない。

【0082】好適実施例のビーム選択

1. バトラー（Butler）マトリックスビーム選択

図46aは、8放射素子の直線アレイに接続された8ビームバトラーマトリックスの概略を示す。この網は、1Lから4L及び1Rから4Rで標識された8ビームポートを有する。図46bは、この網によって発生されたかつ1Lから4L及び1Rから4Rで標識されている8アレイビームパターンを示す。これらのビームの1つのビームの方向から受信された信号は、同じビーム番号で標識されたポート上の網から発生される。逆に、網ビーム

ポートの1つに印加された信号は、自由空間内に相当するビーム発生する。8ビームポート上の単極多投高周波スイッチングは一度にいくつかの個別ビームを選択することを可能にする。本発明の好適実施例の集積多投スイッチが使用される。多重スイッチ方式は、全て8つのビームを同時に発射することができるから、同時ビーム形成を可能にするであろう。

【0083】2. プラス (Blass) マトリックス選択

バトラーマトリックスの場合と同様、プラスマトリックス網も、また、自由空間内に同時ビームを形成する。しかしながら、放射素子と同じ数 (通常、2の整数べき) のビームを有するバトラーマトリックスと違い、プラス網は、任意数の素子で以て任意の数の同時ビームを発生することができる。図47は、9放射素子の直線アレイに給電する8ビームプラスマトリックスの概略を示す。また、指示角内に平等間隔を取ったビームを有するバトラーマトリックスと異なり、プラスマトリックスは図のどれか2つの隣合う給電線路間で素子1から9を通して直線長さプログRESSION (linear length progression) を有することができ、かつそれらのビームを空間内で任意の指示方向に駐在させることができる。やはり、ビームポート間の高周波スイッチングが送受信に対して個別ビームの選択又は同時ビームの多重選択を可能にする。本発明の好適実施例の集積多投スイッチが使用される。

【0084】3. ロートマン (Rotman) レンズビーム選択

ロートマンレンズは、直線アレイのいくつかのポートからの入力をこれらのレンズの後方のただ1つの点に集束する光学デバイスである。この集束点はアレイ信号の到着方向、したがって、その直線アレイを横断する信号の位相プログRESSIONによって決定される。いくつかのビームポートはこれらのレンズの背後に沿って置かれて、信号到着のいくつかの可能同時角の各々毎にこの集束エネルギーを収集する。図48は、30放射素子の直線アレイに給電する30ビームロートマンレンズの概略を示す。バトラー及びプラスマトリックスに関してのように、多くのロートマンレンズビームポートを、本発明の好適実施例の単極多投高周波スイッチによって単一受信機又は送信機へスイッチすることができる。また、多重スイッチ方式は、多くの同時ビームから多重ビームを同時に選択できるようにする。

【0085】4. 円形対称アレイビーム選択

図49のアレイは、円形アンテナの回りに一定間隔を取って配置された素子を有する。高周波マニホールドが n 出力を発生するために使用され、ここに n は円形アレイの全 N 素子の副集合である。このマニホールドは、均一振幅、最大実効放射電力に対する位相加重を有することができ、かつ低サイドローブ自由空間パターンを生じるよ

うに振幅テーパを付けられ得る。このマニホールド分布を、変更パターン形状を与えるように位相スプイルする (phase-spoil) こともできる。

【0086】 n 素子の整流セクタは、高周波スイッチングを回転させることによってどの一時刻においても励起されて、このマニホールドによって決定されたパターンのカバレージの360度走査を与える。本発明の好適実施例の集積単極多投スイッチが使用される。

【0087】好適実施例の送信/受信二重化

1. 送信/受信二重化

図50は、送信/受信モジュールの簡単化概略を示す。本発明の好適実施例の単極双投高周波スイッチが、送信電力増幅器PA又は受信低雑音増幅器LNAをそれぞれ通してマニホールド及び放射素子ポートを接続することによって送信又は受信能力のどちらかを選択するために使用される。

【0088】好適実施例の周波数選択

1. フィルタ選択度同調

高周波フィルタは、2ポートデバイスであって、選択的に所望周波を通過させる一方、不要周波を反射又は吸収する。所望通過帯域及び阻止帯域を有する反射フィルタは、入力ポートと出力ポートを接続する伝送線路に沿って間隔を取った正確同期同調不整合の累積によってしばしば実現される。図51は、同期同調不整合が選択的周波数反射を発生する (開放又は短絡回路で構成された) スタブ (stub) であるフィルタの概略を示す。通過帯域及び阻止帯域に対するその周波数選択領域は、このスタブの間隔、又は分離、及びスタブ長さによって決定される。高周波スイッチングによって、図中の3上側スタブ又は3下側スタブを、所望されるように、周波数応答に対して選択することができる。本発明の好適実施例の単極単投スイッチがこれらの接続を提供する。

【0089】2. チャンネライザ (channelizer) スwitching

多くの高周波システムは、広い周波数バレージ応用に対して広帯域であることを要求される。しかしながら、システム内の或る構成要素は、本来的に狭帯域であることがあり、充分な動作帯域幅をカバーすることができない。また、広帯域幅性質は、不要な広帯域雑音を許して、システム性能を劣化させることがある。それゆえに、各々がその設計狭帯域内で働く類似の構成要素のバンクが、システムの全帯域要件を満足させるために、周波数が変動する従ってスイッチ入出されることがある。

【0090】広帯域雑音は、システム雑音指数及び信号対雑音比にとって有害であり得る。図52は、好ましくない雑音作用を最小化するスイッチング技術の適用を示す。チャンネルライザは、システム帯域幅を横断する連続周波数帯域に各々固定同調した狭帯域通過フィルタのバンクである。周波数が動作帯域を横断して変動するに従って、適当なチャンネルライザフィルタが受信経路内へス

イッチされて、雑音帯域幅を連続的に最少化する。図5 2は、単極双投スイッチの集合を使用することによって単極多投高周波スイッチを実現する技術を描いていることに注意されたい。どちらの場合においても、本発明の好適実施例の単極双投又は同じく好適実施例の単極多投スイッチが使用される。

【0091】3. 電子デバイスインピーダンス整合同調ハンドヘルドセルラー電話から大電力レーダ送信機に至る範囲の電子デバイスは、マイクロ波周波数範囲内で動作しかつ高周波インピーダンス不整合問題に見舞われる。インピーダンス整合を改善するために要求される整合網は、異なる動作条件の下で異なると云える。1つの例は、そのアンテナをしまい込み位置にすることもあればこれに対して部分的又は全面的に伸長することもある、又は航空機内で動作することもあればこれに対して会議室又は事務所内で動作することもあるハンドヘルド電話である。高周波スイッチングを、この必要な可変同調網を実現するために使用することができる。

【0092】図5 3は、セルラー電話のアンテナと送信機/受信機との間のインピーダンス整合を可変同調する例を示す。開放又は短絡スタブのアレイを、2つの電子デバイス間のインピーダンス整合を連続的に改善するように（手動的に又は自動的にのどちらかで）選択することができる。この改善整合は、信号対雑音比を向上し、要求伝送電力を減少させ、かつ動作電池寿命を延長することになる。本発明の好適実施例の多投スイッチが使用される、及び、図3 3 a、bは、6素子の場合を示す。

【0093】4. アンテナ周波数選択度同調ほとんどの高周波アンテナは、その放射素子寸法によって決定される周波数範囲において動作する。種々のアンテナの物理的寸法を変更することによって、アンテナ同調周波数を選択することができる。図5 4及び図5 5は、アンテナ寸法、したがって、アンテナ選択同調周波数を選択するために使用される高周波スイッチングの2つの例を示す。

【0094】図5 4は、ダイポールアンテナを示し、このアンテナの半波共振長を本発明の適当な好適実施例の高周波スイッチ位置によって $2l_1$ 、 $2l_2$ 、 $2l_3$ のように選択することができる。それゆえ、このダイポールアンテナを3つの周波数のどれか1つへ同調させることができる。追加の同調周波数が、追加のスイッチを用いてこのアンテナ寸法を大きくすることによって発生されると云える。

【0095】図5 5は、中央金属被覆ディスクを含む円形パッチアンテナ (patch antenna) を表示する。このディスクは、共振し、したがって、そのディスク直径 d_1 が半波長であるような周波数において放射する。パッチアンテナ直径を d_2 へ有効に増大する高周波スイッチングの遂行によって、このアンテナは異なる周波数において共振（かつ放射）することになる。こ

の高周波スイッチングは、この図の中央ディスクを金属被覆環状リングに接続する、例えば、スイッチ1400におけるような可動（又は変形性）金属被覆環状接点によって実現されると云える。

【0096】この構想の他の実現は、可動金属被覆環状接点に d_2 の外径を持たせることであって、このようにして、図5 5内の金属被覆環状リングの必要性を除去する。可動環状接点が中央ディスクに接続されるとき、この切換え組合わせの実効パッチ直径は d_2 である。

10 【0097】5. 再構成可能低レーダ断面積アンテナアレイ

スティルス (Stealth) 技術は、アンテナアレイが非常に低いレーダ断面積（以下、レーダ断面積をRCSと称する）性質を有することを要求する。瞬間的に不動作となるアンテナアレイは、（例えば）敵の妨害物 (jammer) がこのアレイを照射する結果として、不要信号を反射又は再放射することがある。それゆえ、このアレイを担持する他のプラットフォームの航空機の使用を敵による検出が、達成されることがある。

20 【0098】アンテナアレイ放射素子を、ランダムな仕方、瞬時意図的に離調 (detune) する、すなわち、スプویلすることによって、そのアレイアパーチャからの放射パターンを顕著に変更又は除去することができる。それゆえ、再放射不要信号の減少を達成することができる。アンテナ周波数選択度同調の節において述べたのと類似の技術を、この再構成可能低RCSアンテナアレイ能力を実現するように実行することができる。すなわち、アレイのパッチの中の本発明の好適実施例のスイッチを、実効パッチ寸法を変動するように開閉すること

30 【0099】変更態様

本発明の好適実施例は、多くのやり方で変えられることがあるが、少なくとも2つ側において支持された膜又はフラップによるマイクロメカニカルスイッチングの特徴を1つ以上維持する。

【0100】その寸法、材料、及び電圧を、例えば、そのスイッチング速度、関連周波数、所望スイッチング制御電圧、等々に適応するように変えることができる。

40 【0101】以上の説明に関して更に以下の項を開示する。

【0102】(1) 移相器であって、(a) 直列に配置された複数のスイッチ可能移相素子、及び (b) 連続する前記移相素子間の接続を含み、(c) 前記移相素子の各々が偏向可能素子を備える少なくとも1つのスイッチを含み、前記少なくとも1つのスイッチの設定が前記移相素子を通る信号に対する移相を決定する、移相器。

【0103】(2) 第1項記載の移相器において、

50 (a) 前記移相素子の各々が、入力端子と、出力端子と、第1伝送線路セグメントと、第2伝送線路セグメン

トと、偏向可能素子を備える2つスイッチを含み、及び
(b) 前記2つのスイッチは前記第1伝送線路セグメント又は前記第2伝送線路セグメントのどちらかの端を前記入力端子と前記出力端子とに接続する、移相器。

【0104】(3) 時間遅延網であって、(a) サブアレイのアレイであって、前記サブアレイの各々がN構成要素を含み、Nは正の整数である、前記サブアレイのアレイ、及び(b) 複数のスイッチ可能時間遅延素子であって、前記時間遅延素子の各々が前記サブアレイの1つを接続点に接続する前記複数のスイッチ可能時間遅延素子を含み、(c) 前記時間遅延素子の各々が偏向可能スイッチ素子を備える少なくとも1つのスイッチを含み、前記少なくとも1つのスイッチの設定が前記時間遅延素子を通る信号に対する遅延を決定する、時間遅延網。

【0105】(4) 第3項記載の時間遅延網において、(a) 前記アレイが二次元アレイである、時間遅延網。

【0106】(5) フィルタ選択網であって、(a) 入力ポートと出力ポートと、(b) 前記入力ポートと前記出力ポートとの間にスイッチによって接続されたフィルタ素子であって、前記スイッチの各々が偏向可能素子を含む、前記フィルタ素子を含むフィルタ選択網。

【0107】(6) 第5項記載のフィルタ選択網において、(a) 前記フィルタ素子が前記入力ポートから前記出力ポートへの線路に前記スイッチによって接続されたスタブである、フィルタ選択網。

【0108】(7) 集積回路であって、(a) 基板上の第1導体上で少なくとも2つの側上に支持された膜、(b) 前記膜上の導電領域であってかつ前記基板上の第2導体に接続する前記導電領域、及び(c) 前記基板上のかつ前記膜の下の引下げ電極を含み、

(d) しきい値より高くかつ前記導電領域と前記引下げ電極との間に印加された電圧と前記引下げ電極とが前記膜を前記第1導体との電気的接続を作るように引き下げる、集積回路。

【0109】(8) 高周波線路のオーム結合と容量結合802、812、803の両方を用いるマイクロメカニカルマイクロ波スイッチ、及びマイクロ波アレイ内に有効な多投スイッチにおける集積。

【0110】

【関連特許出願とのクロスレファレンス】本願は、1993年7月27日出願された米国特許出願第08/097,824号の一部継続出願である。

【図面の簡単な説明】

【図1】既知のマイクロメカニカルスイッチを示す図であって、aは平面図、bは断面正面図である。

【図2】既知のポリマー空間光変調器面素を示す図であって、aは断面正面図、bは等価回路図である

【図3】金属トーションビーム空間光変調器を示す図で

あって、aは斜視図、bは断面図である

【図4】図3の光変調器を示す図であって、aは平面図、bは電圧印加状態の断面図である。

【図5】本発明の好適実施例の頂部金属膜を有するスイッチを示す図であって、aは平面図、bは開位置の断面正面図である。

【図6】図5のスイッチを示す図であって、aは図5bに垂直な開位置の断面正面図、bは閉位置の断面正面図、cはbに垂直な閉位置の断面正面図である。

10 【図7】本発明の好適実施例の単極双投スイッチの平面図。

【図8】本発明の好適実施例の単極双投スイッチの組合わせ対を示す平面図。

【図9】図5、6のスイッチの変種を示す平面図であって、aは1つの変種、bは他の変種の図、cは更に他の変種の図である。

【図10】本発明の好適実施例の誘電体膜を有するスイッチを示す図であって、aは開位置の断面正面図、bは閉位置の断面正面図、cは平面図である。

20 【図11】本発明の好適実施例の下側誘電体膜を有するスイッチを示す図であって、aは開位置の断面正面図、bは閉位置の断面正面図である。

【図12】図11のスイッチの誘電体被覆品型を示す図であって、aは断面正面図、bは平面図である。

【図13】本発明の好適実施例の2つ金属膜を有するスイッチを示す図であって、aは平面図、bは断面正面図、cはこのスイッチの他の品型の平面図である。

30 【図14】本発明の好適実施例のマイクロストリップセグメントを覆う金属薄膜を有するスイッチを示す図であって、aは断面正面図、bはその変種の平面図、cは同じく断面正面図である。

【図15】本発明の好適実施例のマイクロストリップセグメントを覆う誘電体膜を有するスイッチを示す図であって、aは断面正面図、bはaに垂直な断面正面図である。

【図16】本発明の好適実施例の1つのマイクロストリップを偏向可能膜に接続した特徴を有する円形スイッチを示す図であって、aは平面図、bは断面正面図。

40 【図17】図16のスイッチの方形品型を示す図であって、aは平面図、dは断面正面図である。

【図18】図16のスイッチの更に他の品型を示す図であって、aは平面図、bは断面正面図である。

【図19】図17のスイッチの無電極品型を示す図であって、aは平面図、bは断面正面図である。

【図20】本発明の好適実施例の2つの金属膜を有するスイッチを示す図であって、aは平面図、bは断面正面図である。

50 【図21】本発明の好適実施例の2つの金属膜を有する他のスイッチを示す図であって、aは断面正面図、bは平面図である。

【図22】本発明の好適実施例のスイッチのトーションヒンジを示す図であって、aは平面図、bは断面正面図、cはこのスイッチの平面図である。

【図23】図22cのスイッチ及びその変種を示す図であって、aは断面正面図、bは変種の平面図である。

【図24】図22cのスイッチの更に変種を示す図であって、aは断面正面図、bは代替容量結合の平面図である。

【図25】本発明の好適実施例のフラクチャヒンジを有するスイッチを示す図であって、aは平面図、bは開位置の断面正面図、cは閉位置の断面正面図である。

【図26】図25のスイッチの変種の断面正面図。

【図27】本発明の好適実施例の引上げ電極を有するスイッチの断面正面図。

【図28】本発明の好適実施例の双安定膜を有するスイッチを示す図であって、aは平面図、bは断面正面図である。

【図29】図28のスイッチの修正の断面正面図。

【図30】本発明の好適実施例のトーションヒンジ単極双投スイッチを示す図であって、aは断面正面図、bは平面図、cはその修正の断面正面図である。

【図31】本発明の好適実施例の単極双投スイッチの他の品型の平面図。

【図32】本発明の好適実施例のトーションヒンジ単極三投スイッチを示す図であって、aは平面図、bは断面正面図である。

【図33】本発明の好適実施例の6出力スイッチを示す図であって、aは平面図、bはフィルタ内へのその応用の回路図である。

【図34】本発明の好適実施例の分流スイッチ構成を示す図であって、aはこのスイッチを含む回路図、bはこのスイッチを使用する構成の平面図、cはこのスイッチの平面図である。

【図35】図34の追加の説明図であって、aは断面正面図、bはこのスイッチの変種を含む回路図、cはこのスイッチを含む構成の平面図である。

【図36】図35のスイッチを示す図であって、aは平面図、bは断面正面図である。

【図37】本発明の好適実施例の偏向性膜を有するスイッチの製造方法を示す図であって、aはリフトオフ金属堆積後の断面図、bはバイア形成後の断面図、cは膜形成後の断面図。

【図38】図37のつづきの図であって、aは金属被覆後の図、bは金属被覆エッチング後の図。

【図39】図38のつづきであって、最終ステップ後の図。

【図40】本発明の好適実施例の時間遅延移相器の回路図。

【図41】本発明の好適実施例の直角移相ハイブリッド時間遅延移相器を示す図であって、aは回路図、bはそ

の変種の回路図である。

【図42】本発明の好適実施例の周期的負荷線路移相器の回路図。

【図43】本発明の好適実施例のスイッチを使用するアパーチャ充填時間補償網を示す図であって、aは放射素子アレイと入射信号との関係図、bはアレイの回路図である。

【図44】図43のアレイの平面図。

【図45】本発明の好適実施例のスイッチを使用するデジタル位相走査直線アレイの回路図。

【図46】本発明の好適実施例のスイッチを使用するパトラマトリックスを示す図であって、aは回路図、bはローブパターン図である。

【図47】本発明の好適実施例のスイッチを使用する5ビームプラズマトリックスの配置線図。

【図48】本発明の好適実施例のスイッチを使用する30素子直線アレイに給電する30ビームトートマンレンズの回路図。

【図49】本発明の好適実施例のスイッチを使用する円形対称アレイビーム選択を示す線図。

【図50】本発明の好適実施例のスイッチを使用する送信／受信モジュールの回路図。

【図51】本発明の好適実施例のスイッチを使用するフィルタの選択度同調を図解する回路図。

【図52】本発明の好適実施例のスイッチを使用するチャンネルライザスイッチングの回路図。

【図53】本発明の好適実施例のスイッチを使用するインピーダンス整合同調を図解する回路図。

【図54】本発明の好適実施例のスイッチを使用するダ イポールアンテナ周波数選択同調を図解する回路図。

【図55】本発明の好適実施例のスイッチを使用する円形パッチアンテナ周波数選択同調図解する回路図。

【符号の説明】

400 スイッチ

402 マイクロストリップセグメント

403 マイクロストリップセグメント

405 電極

406 電極

410 スペーサ

40 412 誘電体膜

414 金属板

415 金風蕁膜

601 金属板

611 電極対

612 電極対

613 電極対

700 スイッチ

730 スイッチ

760 スイッチ

50 800 スイッチ

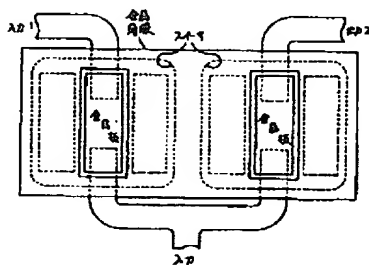
802 マイクロストリップセグメント
 803 マイクロストリップセグメント
 805 電極
 806 電極
 812 誘電体膜
 815 金属薄膜
 816 金属薄膜
 820 テオレンチ
 825 金属電極
 900 スイッチ
 902 マイクロストリップセグメント
 903 マイクロストリップセグメント
 912 金属膜
 914 金属板
 1000 スイッチ
 1002 マイクロストリップセグメント
 1003 マイクロストリップセグメント
 1012 誘電体膜
 1014 金属板
 1020 誘電体層
 1100 スイッチ
 1102 マイクロストリップセグメント
 1103 マイクロストリップセグメント
 1112 窒化シリコン薄膜
 1115 金属薄膜
 1200 スイッチ
 1202 マイクロストリップセグメント
 1203 マイクロストリップセグメント
 1215 金属薄膜
 1221 ポスト
 1222 ポスト
 1300 スイッチ
 1302 マイクロストリップセグメント
 1303 マイクロストリップセグメント
 1305 へこみ電極
 1306 へこみ電極
 1307 電極コネクタ
 1315 単一金属薄膜
 1332 誘電体被覆
 1333 誘電体被覆
 1400 スイッチ
 1401 酸化物層
 1402 マイクロストリップセグメント
 1403 マイクロストリップセグメント
 1406 制御電極
 1410 環状スペーサ
 1412 金属膜
 1430 酸化物のポスト
 1450 パイア
 1500 スイッチ

1502 マイクロストリップセグメント
 1503 マイクロストリップセグメント
 1510 スペーサ
 1512 金属膜
 1520 誘電体被覆
 1532 コンデンサ
 1533 コンデンサ
 1542 インダクタ
 1543 インダクタ
 10 1600 スイッチ
 1612 誘電体膜
 1615 金属薄膜
 1700 スイッチ
 1712 誘電体膜
 1715 金属薄膜
 1800 スイッチ
 1802 マイクロストリップセグメント
 1803 マイクロストリップセグメント
 1805 電極
 20 1806 電極
 1807 ランディングパッド
 1810 スペーサ
 1812 金属フラップ
 1821 金属ヒンジ
 1822 金属ヒンジ
 1900 スイッチ
 1902 マイクロストリップ
 1903 マイクロストリップ
 1906 電極
 30 1912 フラップ、トーションビーム
 1921 ヒンジ
 1922 ヒンジ
 2000 スイッチ
 2002 マイクロストリップ
 2003 マイクロストリップ
 2006 へこみ電極
 2012 金属フラップ
 2021 フレクチャヒンジ
 2022 フレクチャヒンジ
 40 2023 フレクチャヒンジ
 2024 フレクチャヒンジ
 2100 スイッチ
 2102 マイクロストリップ
 2103 マイクロストリップ
 2106 電極
 2112 金属フラップ
 2120 誘電体被覆
 2121~2124 ヒンジ
 2200 スイッチ
 50 2202 マイクロストリップ

31

2206 ヘこみ電極
 2210 スペーサ
 2211 スペーサ
 2212 金属膜
 2256 追加被覆誘電体膜
 2300 スイッチ
 2302 マイクロストリップ
 2305 引下げ電極
 2306 引下げ電極
 2315 スチフバイメタル膜
 2321 バイア
 2322 バイア
 2356 引上げ電極膜
 2400 スイッチ
 2415 圧縮ひずみ膜
 2456 引上げ電極膜
 2500 スイッチ
 2502 マイクロストリップ
 2503 マイクロストリップ
 2504 マイクロストリップ
 2505 電極
 2506 電極
 2512 金属フラップ
 2521 ヒンジ
 2522 ヒンジ
 2552 片持ち導体
 2553 片持ち導体
 2600 スイッチ

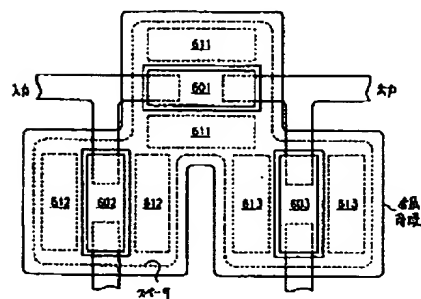
【図7】



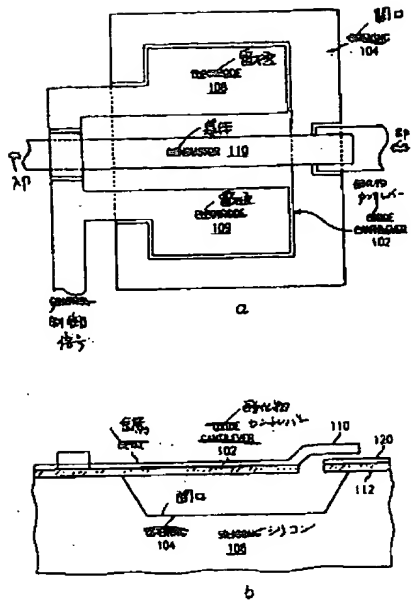
32

2602 マイクロストリップ
 2603 マイクロストリップ
 2604 マイクロストリップ
 2605 ヘこみ引下げ電極
 2606 ヘこみ引下げ電極
 2612 金属膜
 2700 スイッチ
 2701 入力マイクロストリップ
 2702 出力マイクロストリップ
 10 2703 出力マイクロストリップ
 2704 ヘこみ電極
 2705 ヘこみ電極
 2706 ヘこみ電極
 2704 出力マイクロストリップ
 2712 共通金属膜
 2800 スイッチ
 2810 スペーサ
 2812 金属膜
 2900 スイッチ
 20 2911 金属膜
 2930 分流スイッチ
 2932 金属膜
 2940 接地線路
 2941 接地線路
 2942 中央線路
 2943 誘電体
 2945 バイア
 2946 バイア

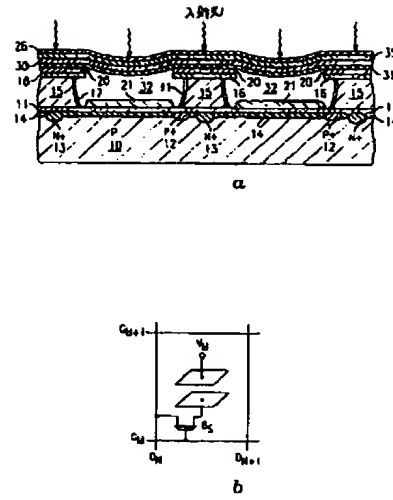
【図8】



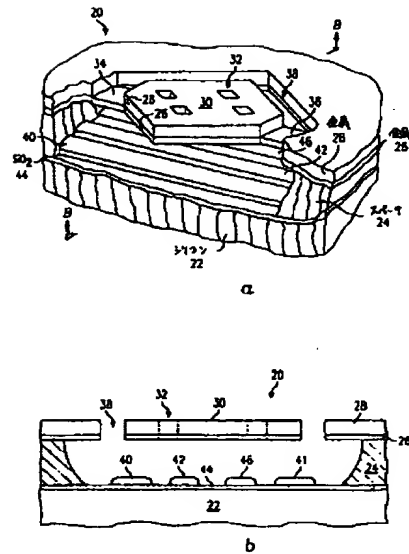
【図1】



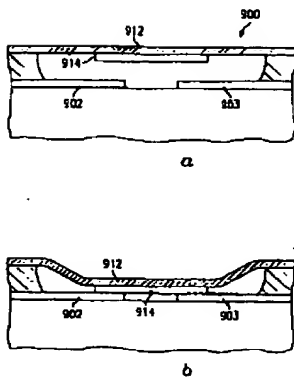
【図2】



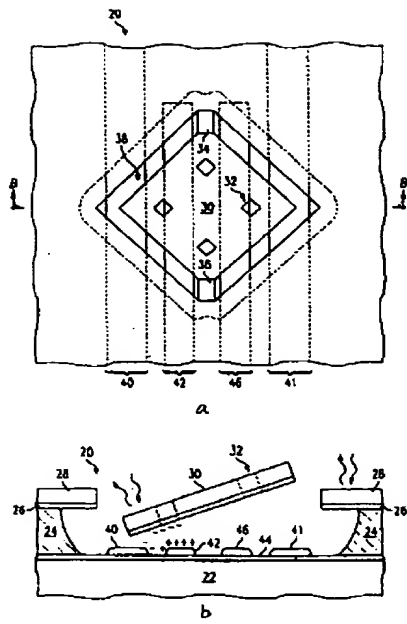
【図3】



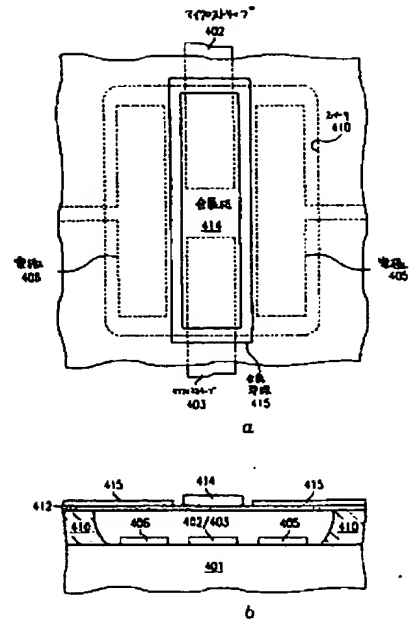
【図11】



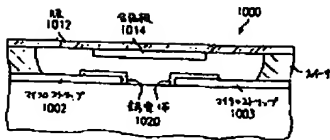
【図4】



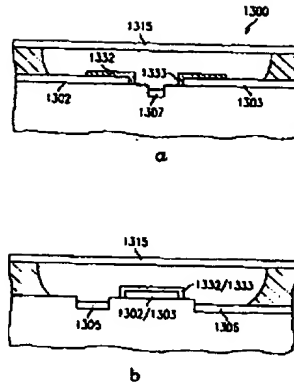
【図5】



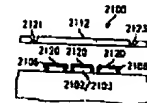
【図12】



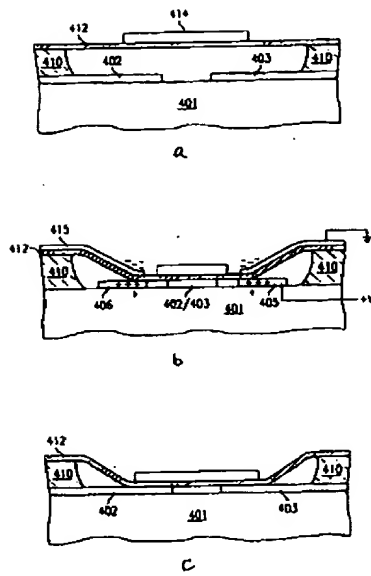
【図15】



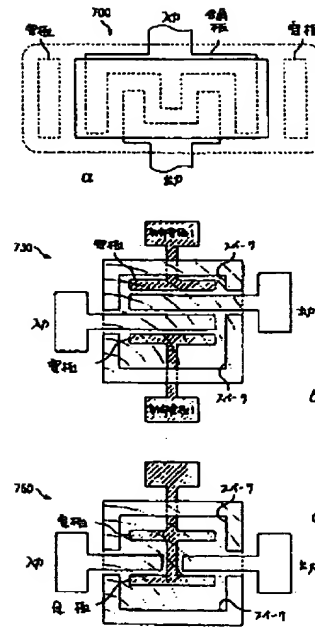
【図26】



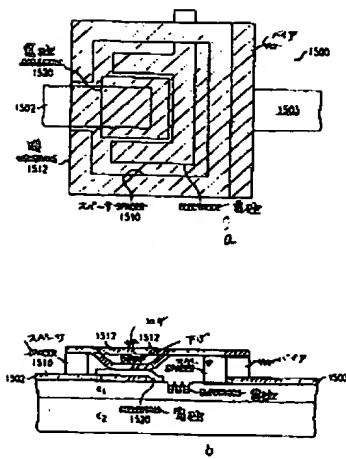
【図6】



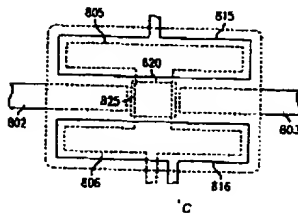
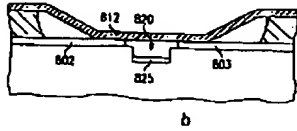
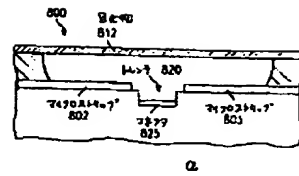
【図9】



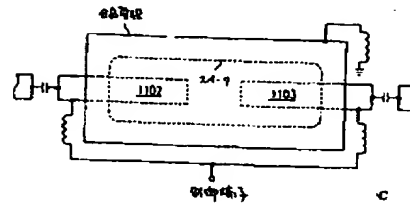
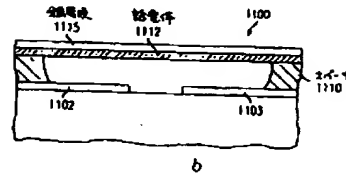
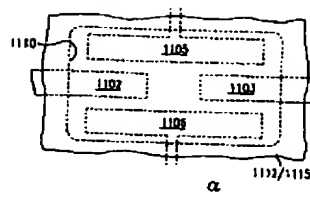
【図18】



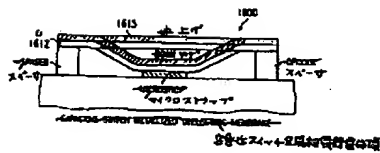
【図10】



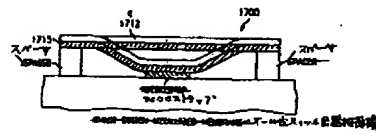
【図13】



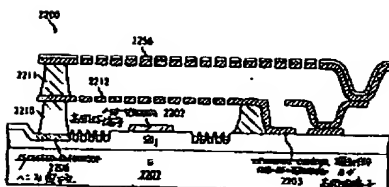
【図20】



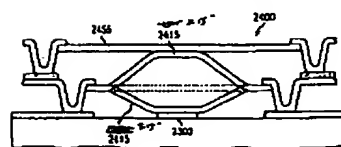
【図21】



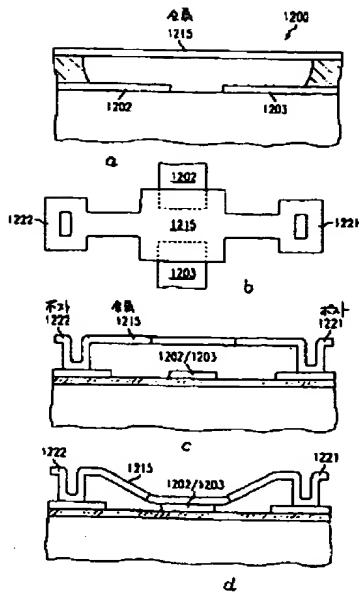
【図27】



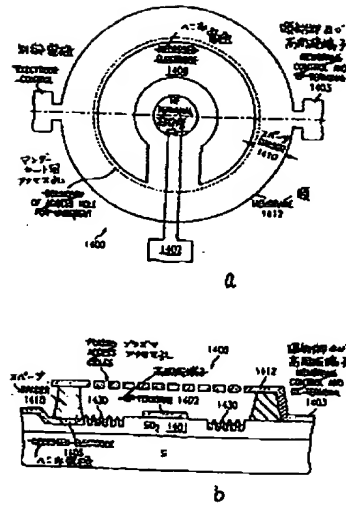
【図29】



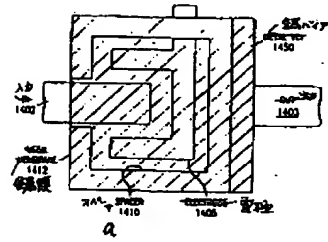
【图 14】



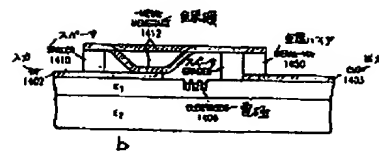
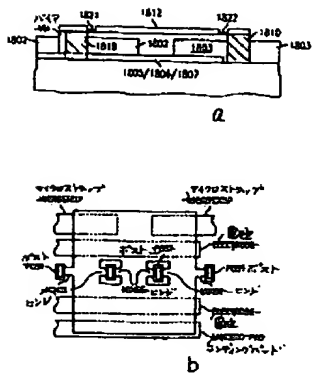
【图 16】



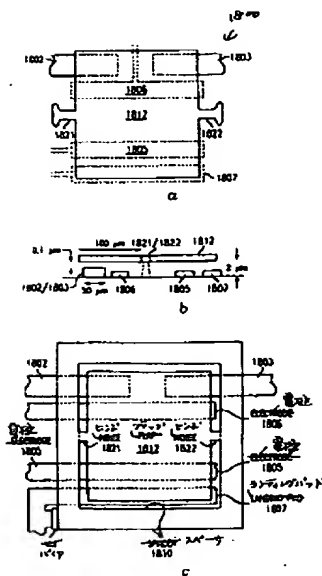
【图 17】



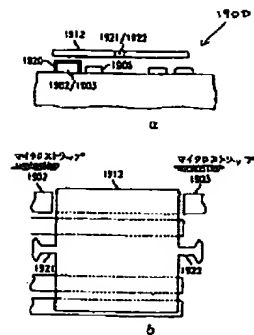
【图 23】



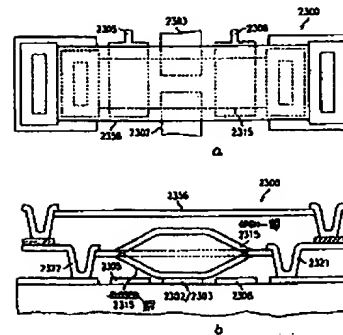
【图 2 2】



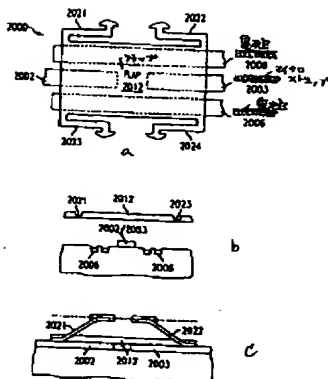
【例 24】



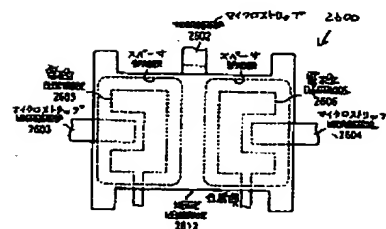
【图 28】



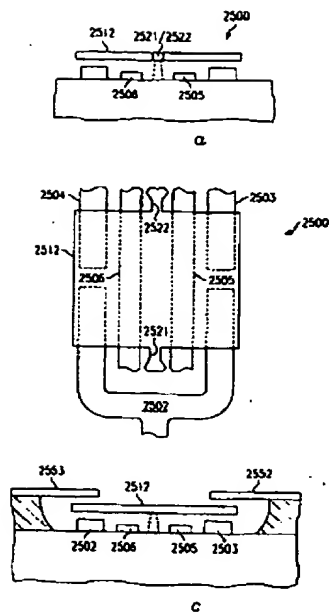
【图 25】



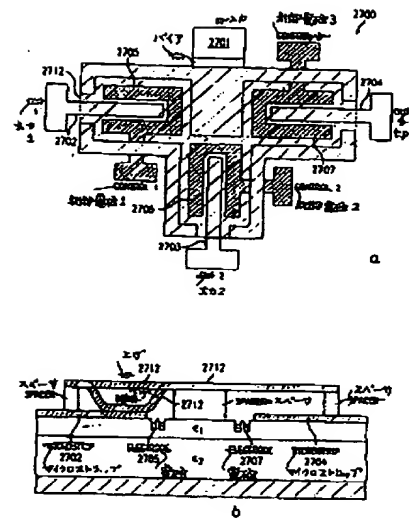
【图 3 1】



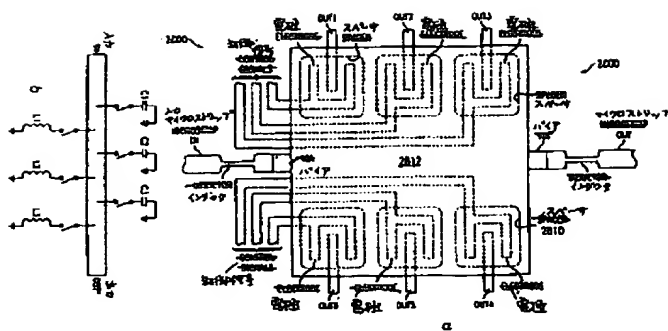
【図30】



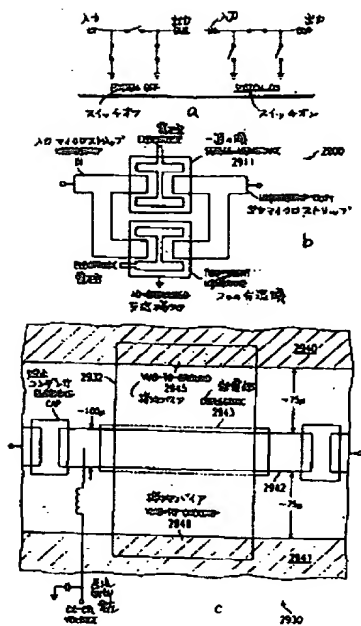
【図32】



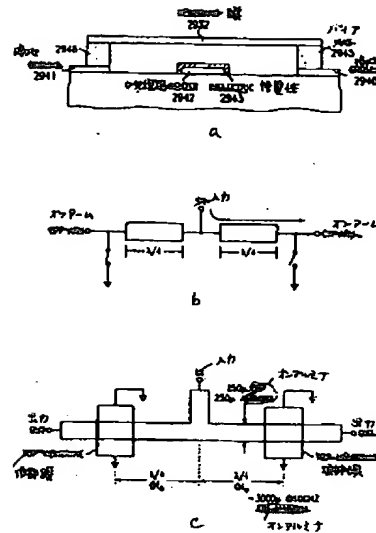
【図33】



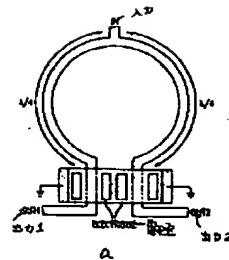
【図34】



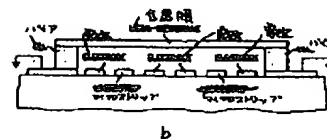
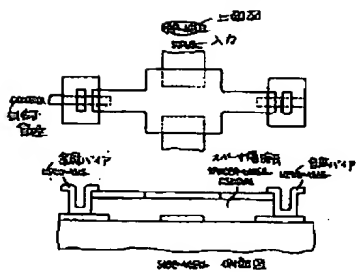
【図35】



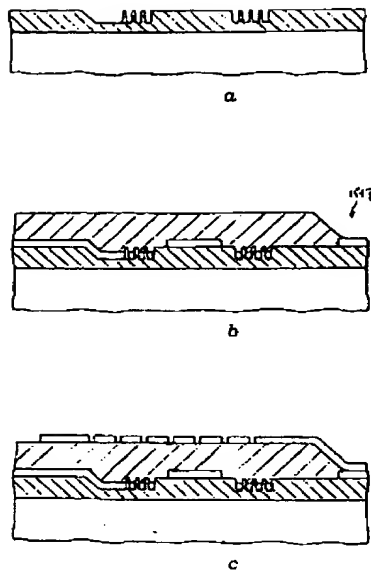
【図36】



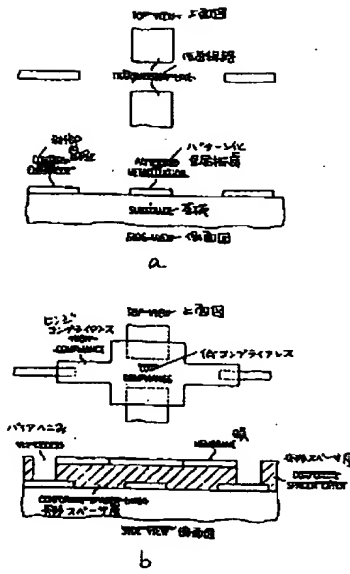
【図39】



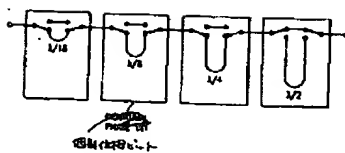
【図37】



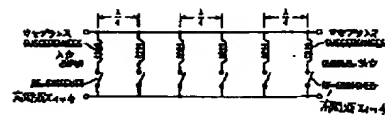
【図38】



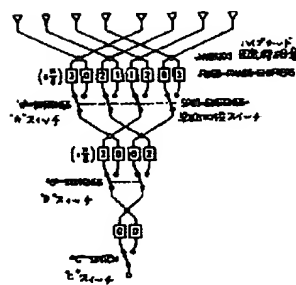
【図40】



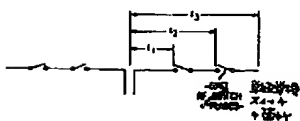
【図42】



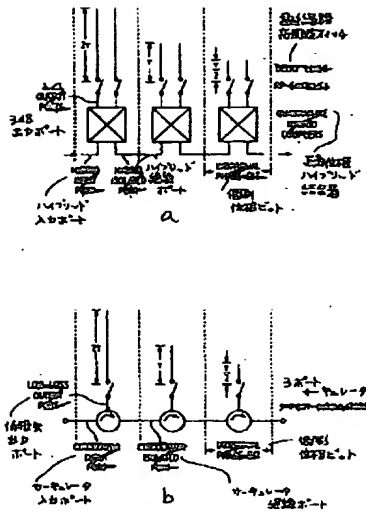
【図45】



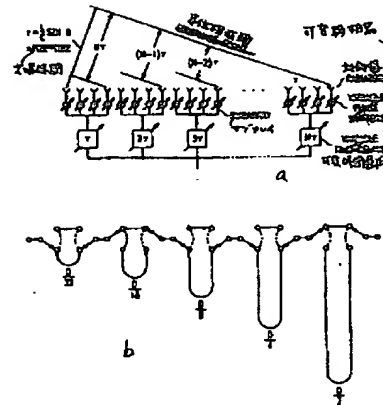
【図54】



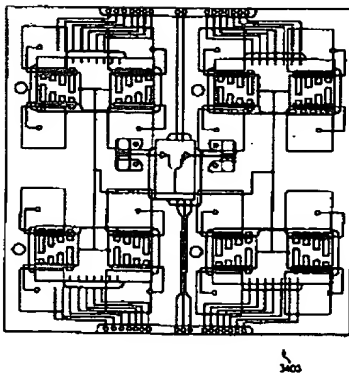
【図41】



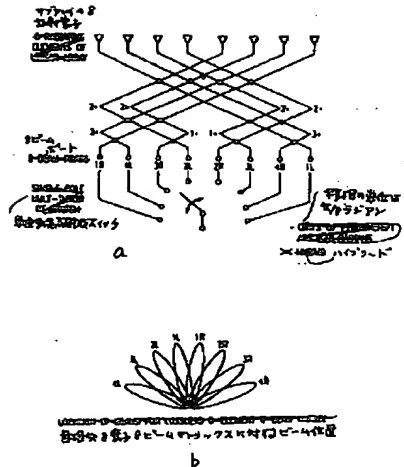
【図43】



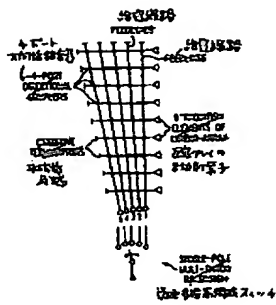
【図44】



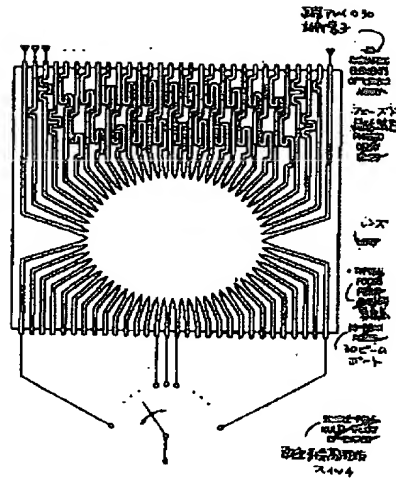
【図46】



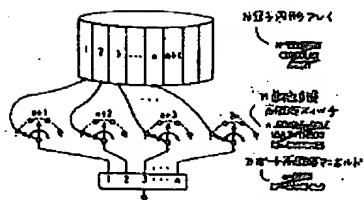
【図47】



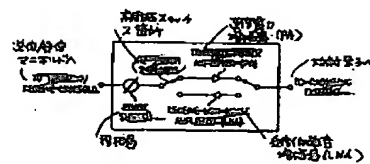
【図48】



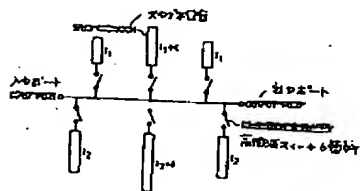
【図49】



【図50】



【図51】



【図52】

